

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫及子計畫一(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2745-E-032-006-URD

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：鄭啟明

共同主持人：林堉溢，吳重成，王人牧

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 6 月 23 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中進度報告

(提昇私校研發能量專案總計畫及子計畫一)

大型結構物所受風力與結構反應之研究：

實場監測、風洞試驗與數值模擬(2/3)

Investigations on the Wind Loads and Structural Responses of Large Structures: Full-Scale Measurements, Wind Tunnel Tests and Numerical Simulations (2/3)

計畫編號：NSC 94-2745-E-032-006-URD

執行期限：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

主持人：鄭啟明淡江大學土木系

其他子計畫主持人：王人牧、吳重成、林堉湜淡江大學土木系

一、前言

近年來國內出現數個大跨徑結構物，除了超高層建築與懸索支撐橋梁之外，尚有巨型煙囪、巨蛋體育館等。從社會經濟富裕和工程技術、材料進步的觀點來看，下一世代的建築與結構必然朝著高度更高，跨度更大的方向發展。由於台灣位處強風區，平均每年受到三個以上的颱風侵襲，對於此類大型結構物，風力將逐漸成為設計時不容忽略的環境荷載，風力引起的結構振動以及結構-風場間空氣彈力效應，也將成為影響結構安全與使用者舒適性的重要因素。風工程的各項研究，無論其研究標的物為建築或橋梁，研究方法是理論模式、數值方法或者風洞試驗，其最終的驗證在於實場量測。一般而言，由於實場設備的設備需求較高，數據採集不易，風工程的實場數據在國際間都難得罕見，至於國內則是一片空白。我國近年完成的大型結構物，如高屏溪斜張橋、高雄85層超高樓、台北101金融中心等，都是值得進行實場監測的重要標的物；然而到目前為止，國內對於風工程的實場監測可說是付之闕如，若能建立實場監測能力，並有效運用監測數據，對於國內風工程研究與應用都有重要的助益。尤其是風力規範中最為重要的風場與風速特性，具有明顯的本土特性。過去由於缺乏本土的實場數據，因此在制訂風力規範時，只能全盤採用美、日的建議，而無力根據本土特性作修正。因此若能透過此計畫購置量測設備，執行高層建築、懸索支撐橋梁以及風場特性的實場量測，並透過資訊平台與其他風工程研究者共享重要的監測結果，如此，不僅能得到理論、實驗與實測之間的比對驗證，而且長期得的實場觀測，可以引發出未來的風工程研究議題。

根據國外學者的實場監測研究中可歸納下列幾項重要的結論：(i)實場監測除了可提供現有理論與實驗方法的驗證之外，可以進一步瞭解風工程問題的本質，進而引發新的研究議題；(ii)對大型結構而言，風工程監測是實場監測中的一環，就整體而言應結合其他監測系統（如地震、結構行為、車輛交通等），建構起完整的結構健康偵測診斷系統。就監測的技術層面而言：(i)GPS系統可以有效的量測風力所造成的平均位移以及低頻的背景振動反應，配合適當的加速計量測，可以得到完整的結構反應；(ii)適當的利用網路科技，可以達到遠端控制的效果分享實場數據。

本計畫的基本目標在於建立淡江大學風工程研究中心的實場監測能力，透過長期監測可取得具有本土特色的大氣邊界層風場實測資料，以及高層建築與懸索支撐橋梁的風壓、結構受風行為等實測資料。這些重要的實場監測數據除了可供各子計畫的比較驗證之外，本計畫擬建立一個實測數據資訊平台，將本計畫取得之實測結果對國內外風工程學術圈開放，以提昇淡江大學風工程研究在國際學術圈的可見度。研究內容為大致可分為六大項：

- (i) 採購實場監測所需的儀器設備
- (ii) 進行高層建築、斜張橋與大氣邊界層特性的實場監測
- (iii) 建構實場監測數據之資訊平台
- (iv) 加強研究中心的實驗軟、硬體設備
- (v) 高層建築、斜張橋與大氣邊界層特性的風洞試驗比較
- (vi) 配合實場監測數據，與子計畫共同進行相關的風工程議題研究

本計畫經費削減調整後之分年度預定的工作項目：

第一年

1. 建置實場監測方法
2. 建置高層建築實場監測系統（風速、風壓、振動速度及加速度計）
3. 建置大氣邊界層實場監測系統（利用高層建築及租用鐵塔）
4. 完成高層建築之結構系統識別（自然頻率及阻尼）
5. 建置實場監測數據資訊平台

第二年

1. 設置橋樑之風速以及振動（速度計及加速度計）之實場監測系統
2. 執行高層建築氣動力實驗
3. 完成橋梁結構系統識別（自然頻率及阻尼）
4. 完成建置實場監測數據資訊平台
5. 探討高樓結構受風振動行為
6. 探討大氣邊界層風場特性

第三年

1. 斜張橋之全橋模型風洞試驗
2. 以風洞實驗探討地形對於大氣邊界層風場特性的影響
3. 執行高層建築氣彈力實驗
4. 建置評估人體舒適性之二軸振動平台
5. 以風洞試驗與實場監測數據比較探討高樓結構振動行為
6. 以風洞試驗與實場監測數據比較探討大氣邊界層風場特性
7. 根據斜張橋實場監測數據與風洞試驗探討橋樑之振動行為、抖振風力、氣動力參數

二、研究計畫內容與預定工作進度

本計畫的宗旨在於建立結構風工程實場監測能力，配合目前正執行中的提昇私校研發能量專案第一期計畫所建立的風洞試驗與數值模擬能力，使淡江大學風工程研究中心能夠更進一步具有全方位的結構風工程研究能力。本計畫之總計畫（含子計畫一）除了有協調整合的作用之外，並負責所有實場監測設備的採購、設備安裝、系統整合、採集數據、建立資料庫以及進行部分的風洞實驗室驗證等工作，子計畫則為與總計畫相關的獨立研究子題。換言之，本計畫所採購的重要儀器設備均為淡江大學風工程研究中心所有，未來可以有效率的供所有研究團隊成員使用。本項整合型計畫為期三年，共有 4 個子計畫。

總計畫及子計畫一：

計畫主持人：鄭啟明

總計畫的基本目標在於建立淡江大學風工程研究中心的實場監測能力，透過長期監測可取得具有本土特色的大氣邊界層風場實測資料，以及高層建築與懸索支撐橋梁的風壓、結構受風行為等實測資料。這些重要的實場監測數據除了可供各子計畫的比較驗證之外，本計畫擬建立一個實測數據資訊平台，將本計畫取得之實測結果對國內外風工程學術圈開放，以提昇淡江大學風工程研究在國際學術圈的可見度。研究內容為大致可分為六大項：(i)採購實場監測所需的儀器設備，(ii)進行高層建築、斜張橋與大氣邊界層特性的實場監測，(iii)建構實場監測數據之資訊平台，(iv)加強研究中心的實驗軟、硬體設備，(v)風洞本體改善，(vi)高層建築、斜張橋與大氣邊界層特性的風洞試驗比較，(vii)配合實場監測數據，與子計畫共同進行相關的風工程議題研究。在實場監測方面，預期進行三項對於結構風工程發展非常重要的監測項目：

1. 大氣邊界層之實場監測：以淡水中央電台 100 公尺高之微波塔台架設之多個風速計為首要監測項目，並配合高層建築與橋梁監測之風場數據。
2. 高層建築之實場監測：以位於台北市之 30 層高樓（百世大樓）為標的物，設置風速計、加速計與速度計。
3. 懸索支撐橋梁實場監測：以位於高屏溪橋之斜張橋為標的物，設置風速計、加速計與速度計。

主要的研究設備及包括：

1. 實場之風速量測：超音波風速計
2. 結構反應量測：速度計，加速度計
3. 數據資料蒐集系統
4. 評估人體舒適性之二軸振動平台
5. 建構資訊平台所需之軟硬體
6. 添購風洞試驗設備

7. 改善風洞本體

子計畫二：高層建築風力與結構互制之系統識別及振動舒適度研究

計畫主持人：吳重成

吳重成教授長期從事結構減振之控制研究，近數年來根據在風力工程應用上累積之經驗，鑑於風與結構間之複雜機制，將研究重點放在探討高層建築與橋樑結構之風力識別及落實國內風力規範之基礎研究。子計畫二為高層建築風力與結構互制之系統識別及振動舒適度研究，共分兩大部分，第一部份基本上應用之技術是接續吳教授過去在主動控制研究中系統識別技術之延伸，繼續有系統地探討氣彈現象存在時風力識別之關鍵技術，促能增進國內受風建築及土木結構安全。第二部份則為透過受風引起之舒適度相關研究，建立我國舒適度標準，期能為國內規範建立長期有理論根據且合理之舒適度標準。

子計畫三：懸索支撐橋梁實場量測、風洞實驗與理論之比較研究

計畫主持人：林堉溢

本計畫配合總計畫的橋梁實場監測數據，進行風洞實驗室的斷面模型試驗與全橋模型試驗，驗證與探討理論架構和不同縮尺模擬方法的適用性，研究計畫的另一重點為發展以風洞試驗為基礎的等值靜態橋梁設計風載重模式。本計畫的研究內容大致可分為下列三階段：

1. 全模型風洞實驗與實場量測之比較研究：以全模型風洞實驗探討(i)不同流場的影響，(ii)不同風向角的影響，(iii)由實場量測結果檢驗全模型風洞實驗的準確性與不確定性。
2. 斷面模型風洞實驗與實場量測之比較研究：以斷面模型進行風洞實驗，(i)依據斷面模型試驗直接估算全橋結構反應，並與實場量測結果作比較，(ii)量測風力係數與顫振導數，應用抖振及顫振理論計算全橋結構反應和顫振臨界風速並與前項實驗結果及實場量測結果作比較。
3. 根據斷面與全橋模型風洞試驗，配合數值模式分析，建構橋梁之等值靜態設計風載重。

子計畫四：實場量測數據入口網站之建置與XML架構之研究

計畫主持人：王人牧

總計畫中將負責現地監測架構之規劃、儀器之架設、資訊平台基本設施之建立與資料之傳送。其資訊儲存平台之建構將規劃高整合性的資料備存資料庫系統，確保量測數據之連續與系統運作之穩定，避免重要資料之漏失。本計畫的研究目的是探討如何將全球資訊網、資料庫、XML 及其它資訊技術使用於大型結構物受風反應

之監測上，以增進實場量測數據之解析、分享與應用，促進全球性的學術合作。本計畫將負責資料匯集後的處理、分發及管理，透過實場量測數據入口網站之架設，經由網路系統及安全管制的互動式網頁界面，可以記載、編輯、轉換、計算、分析、展示及下載所監測的歷時數據。使得子計畫間的資料共享與應用更組織化、人性化及明瞭化。同時，建立以 XML 為基礎的高效率後端資料處理架構，提供結構物受風反應實場量測數據交換、整合的標準與環境，方便繪圖、分析、評估程式之開發與連結。

一、分年度執行進度

總計畫與各子計畫之分年度研究工作進度分述如後：

總計畫之第二年研究工作進度

（一）儀器採購：

1. 實場監測設備
2. 加強研究中心的實驗軟、硬體設備
3. 風洞本體改善

（二）實場監測：

1. 設置橋樑之風速風向以及振動（速度計及加速度計）之實場監測系統
2. 高層建築之風速風向及振動之實場監測與數據採集
3. 大氣邊界層之實場監測與數據採集

（三）風洞實驗

1. 高層建築之氣彈力試驗：以氣動力模型進行風洞試驗，量測結構所受風力，估算結構受風反應，並與實場監測數據進行比較。
2. 斜張橋之斷面模型風洞試驗：量測橋樑之各項風力係數及顫振導數與實場監測數行比較。

（四）風工程研究項目

1. 根據橋樑在無風狀態的微振監測數據進行橋樑結構系統識別（自然頻率及阻尼）
2. 建置實場監測數據資訊平台
3. 根據高層建築之實場量測數據探討高層結構振動行為。
4. 根據實場風速量測數據探討大氣邊界層風場特性，並分別以常態風及颱風進行分析研究。

三、儀器設備之購置

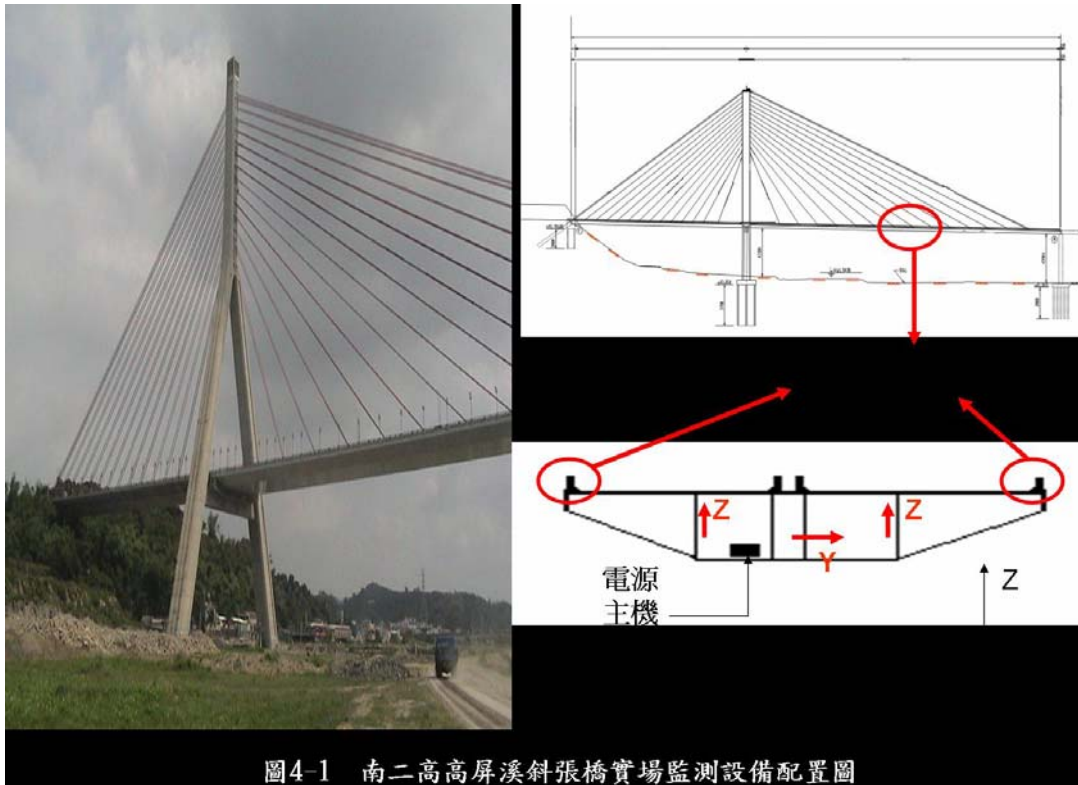
本計畫儀器預算包括國科會所核撥 600,000 元及本校所編定之配合款 2,468,000 元，共計 3,068,000 元。而目前已採購完成之第二年儀器設備及軟體，詳細內容及金額如下表所示：

品名	三維超音波風速計(2 組)	金額	480,000 元
說明	1. 廠牌及型號：METEK, USA-1 Ultrasonic Anemometer 2. 輸出訊號：X,Y,Z 三軸向風速及溫度 3. 量測風速範圍：0-60m/s		
品名	資料擷取系統(1 組)	金額	510,000 元
說明	1. 廠牌及型號：SAMTAC-802H 2. 各頻道具濾波及放大功能 3. 解析度：16bit		
品名	高敏度速度計(6 組)	金額	846,000 元
說明	1. 廠牌及型號：VSE-15D 2. 輸出訊號：kine, gal 3. 量測範圍：±10kine, ±2000gal		
品名	8 頻道訊號擷取器(2 組)	金額	142,000 元
說明	1. 廠牌及型號：UL840 2. 解析度：±1/2000 3. 各頻道具濾波及放大功能		
品名	施工費用	金額	370,000 元
說明	1. 南二高斜張橋配管配線及儀器架設安裝費用		

四、高屏溪橋之監測計畫

1. 儀器設備安置概述：

南二高高屏溪斜張橋的實場量測擬使用 2 組三維超音波風速計量測風速風向；6 組速度計設置於橋樑主跨中點及 1/4 跨處，主要可量測出橋樑縱向、橫向、垂直向、扭轉向之振動速度（平均值與擾動值）；另本項監測工作需使用 2 套 8 頻道之數據資料蒐集系統。儀器安裝位置如圖 4-1。



2. 實場監測項目：

- (1) 風場量測：為了量測平常風及颱風在不同風向時，橋樑可量測到代表性瞬時風速，分別在跨中央橋版兩側各設置一組超音波風速計，量測該位置的瞬時風速。風速量測具有下列功能，(i)其他量測數據的篩選依據，(ii)振動量測的無因次化基礎，根據實測數據可以進一步探討風速的頻譜以及機率特性。
- (2) 橋樑反應量測：以速度計（分別設於主跨中點及 1/3 跨處）量測橋樑受風振動現象。透過上述儀器，可初步識別橋樑之兩向及扭轉振動及橋樑振態。實場振動數據可用於作為風洞氣彈力試驗以及數值計算的比對。
- (3) 資料集錄系統：速度計及風速計透過資料擷取器儲存於現地架設之資料集錄系統。由人員定期進行資料之存取。

五、資料擷取、傳輸與儲存

傳統上，長期監測計畫資料的保存和分析是在同一資訊平台上運作，且其地位常在一孤立的場所並十分接近監控中的結構物。不過，隨著電腦及網路技術的發展，遠端控制、資料集中管理的概念逐漸形成。然而最大的挑戰，在於監測系統的操作、量測數據的下載及其儲存、處理和傳播。

1. 資料擷取與傳輸

在一般情況下，資料之擷取方式為利用資料擷取器，以 50Hz 之採樣頻率，持續採樣。此外，現地資料儲存系統會不斷地接收資料擷取系統的資料，定時存成歷時檔案，並由人員定期至現地資料儲存系統存取所需之資料。

2. 資料儲存與管理

實場量測資料之儲存與管理部分，採用 Client-Server 架構，建置的實場量測數據資訊儲存平台，以可靠、有效地紀錄研究團隊的結構風工程實場量測數據，並提供一個整合性的數據傳輸、管理、分享、應用資訊平台。同時，導入知識管理的概念，以資料入口和資料倉儲等技術增進資料之可視度，並提高數據搜尋與擷取的效能。執行層面上整個系統將架構於網際網路上，不受平臺及地域的限制，如此一來，只需透過當地的網路系統及全球資訊網瀏覽器，就可以記載、編輯、轉換、計算、分析、展示、搜尋及下載所監測的歷時數據，增加了許多使用者操作上的便利性。又為了系統中所紀錄之數據其後續應用上資料轉換的需求，將進一步探討以 XML 為基礎的資料共享模式。

本系統以 Zope 為網路伺服器及 Plone 為入口網站平台，建構實場量測數據入口網站，因為 Zope 及 Plone 皆為開放源始碼軟體，在系統管理及應用上給予較多的彈性，而 Zope 的 Database Adapter 產品套件，讓 Zope 可以和關聯式資料庫作連結，增強其資料庫處理功能，加上其內建的 FTP 功能使得數據資料之存取可以更快速便利；以 XML 制定交換訊息格式，可以加快 Client 及 Server 間的訊息傳遞，另一方面，透過既訂的格式可以在不同系統間的進行訊息交換及應用。

以圖 5-1 概要說明實場量測數據入口網站的軟硬體架構，在圖一中每個軟硬體就似積木般，以硬體為基底，相互堆疊而成，Plone、MySQLDA 及 XML Kit 皆是 Zope 的產品套件。

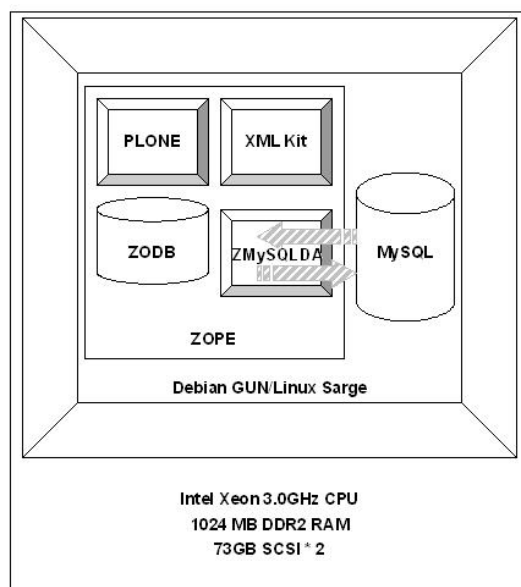


圖 5-1 系統概要圖

除入口網站外，資料庫之建置與規劃也是資料管理之重點，為保存實場量測環境之各項相關資料及量測數據，資料庫系統區分成三個模組，依序分成「結構物資訊模組」、「儀器資訊模組」與「檔案儲存模組」，分別敘述其欄位設及資料型態。各模組之建置細節可參考子計畫四。

六、實場量測數據分析

1. 中央廣播電臺

本實場監測系統完成後，隨即於 2005 年 7 月 17、18 日量測得由東岸侵襲本島的強颱風海堂，中心最大風速高達 55m/s。其路徑如圖 6-1 所示。

圖 6-1 海堂颱風路徑圖

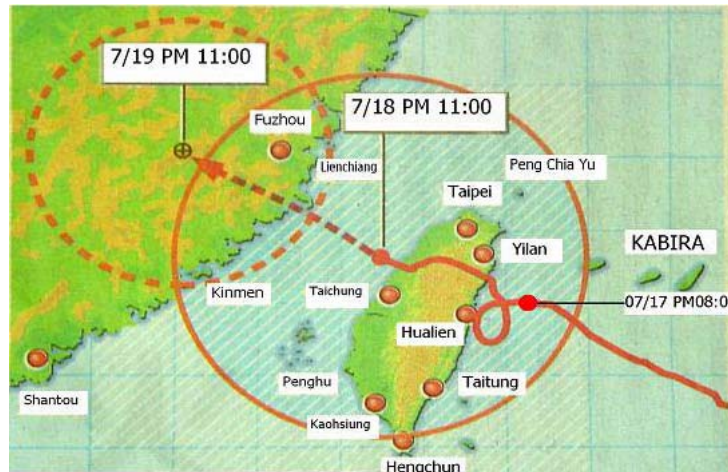
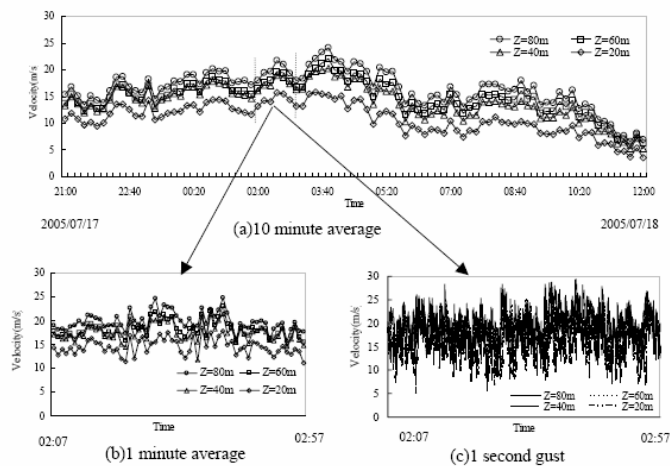


圖 6-2(a)顯示為 17 日 21 時至 18 日 12 時之 10 分鐘平均風速紀錄，相較於圖 6-2(a)，圖 6-2(b)及圖 6-2(c)分別為長度歷時一小時的 1 分鐘平均風速及 1 秒鐘平均風速紀錄。由圖 6-2(a)中可得知於 18 日凌晨 3:40-3:50 量得最大風速 24.1m/s，於 18 日中午量得最低風速 6.4m/s。另外由長度歷時一小時的 1 分鐘平均風速圖 6-2(b)中發現，有多組 1 小時風速紀錄呈現穩態分佈。因此在初步分析中，並未考慮非穩態風速的影響。另外 17 日 21 時至 18 日 4 時期間風向角約在 35 度 \pm 10 度；18 日 4 時至 18 日 12 時期間風向角約在 70 度 \pm 10 度。

圖 6-2 風速歷時：(a)十分鐘；(b)一分鐘；(c)一秒鐘



選擇三筆風速歷時呈現穩態分佈一小時紀錄進行分析。此三筆分別在 80m 高度的平均風速為 19.96m/s，16.57m/s，6.4m/s。圖 6-3 為此三筆風速形成之風速剖面與指數律之比較。針對 80m 做風速正規化，可發現該風速剖面之指數應為 0.20~0.25 之間，而非規範中所屬之地況 C 指數 0.15。圖 6-4 為紊流強度剖面，在高度 80m 分佈為 14.5%~20.7%；在高度 20m 分佈為 21.4%~29.9%。圖 6-5 則為 6 段 10 分鐘歷時之能量頻譜圖與 Kaimal 頻譜、von Karman 頻譜之比較，由圖顯示十分吻合。

圖 6-3 平均風速剖面圖

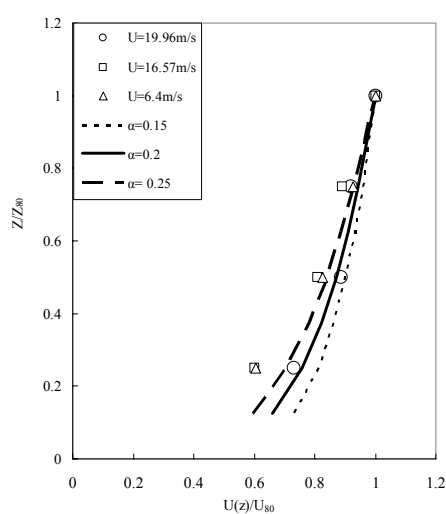


圖 6-4 順風向紊流強度剖面圖

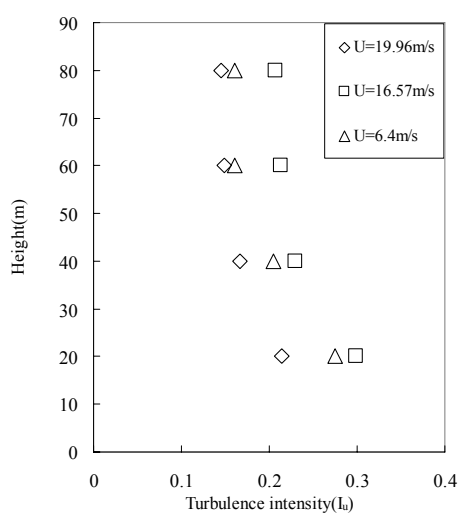
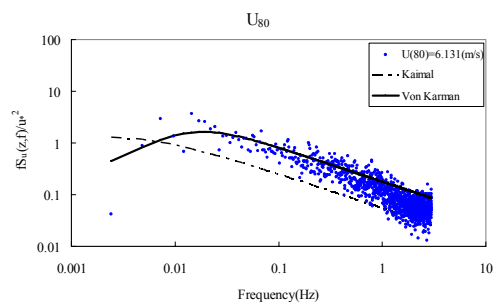
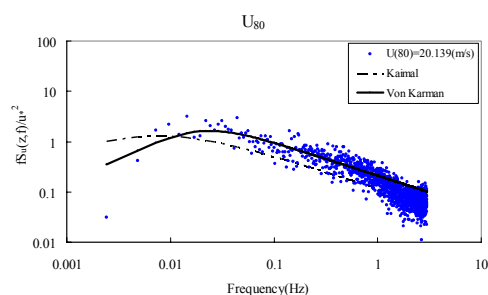


圖 6-5 順風向風速頻譜圖：(a)U=20.14m/s；(b)U=6.13m/s



2. 中央百世大樓

本實場監測系統完成後，隨即於 2005 年 7 月 17、18 日量測得由東岸侵襲本島的強颱風海堂，中心最大風速高達 55m/s。其路徑如圖 6-1 所示。

圖 6-6(a)顯示 17 日 21 時至 18 日 13 時完整的十分鐘平均風速記錄，從歷時來看，平均風速的範圍在 6.6m/s 到 20.6m/s 之間。圖 6-6(b)顯示 18 日 2 時至 5 時更為詳細的一分鐘平均風速記錄，其中範圍則為 10m/s 到 27m/s 之間。同時發生於最大一分鐘平均風速（即 27.0m/s）的大樓中心及角落加速度歷時亦記載如圖 6-7（a）及圖 6-7（b）所示。

圖 6-6(a) 10 分鐘平均風速歷時

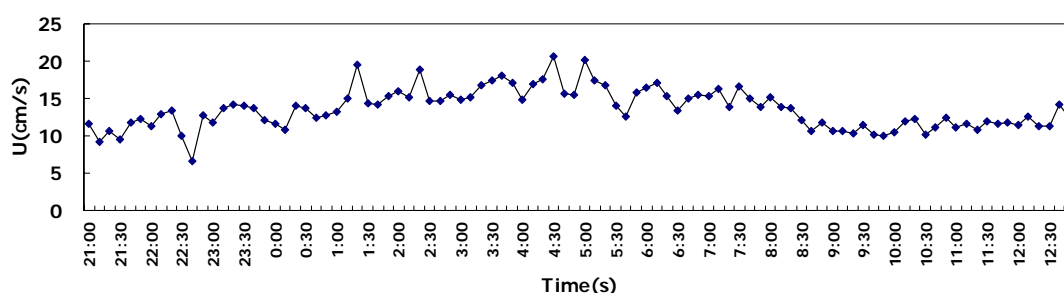
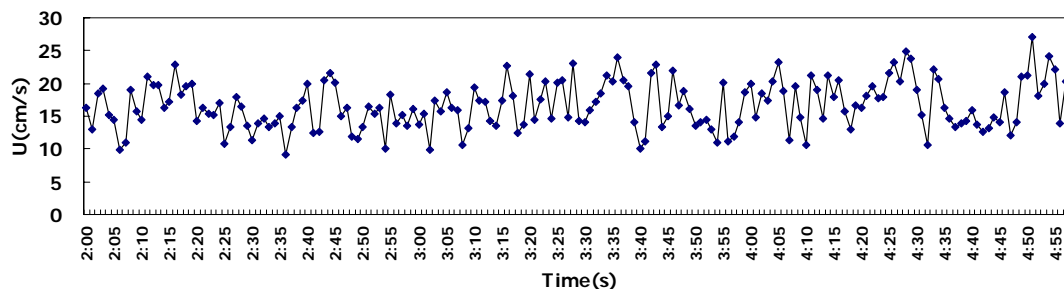


圖 6-6(b) 1 分鐘平均風速歷時



從圖 6-7（a）與圖 6-7（b）可發現角落的加速度歷時除了包含兩向的頻率外，也包含了扭轉向的頻率。為了更明確的看出大樓的振動情形，將頂樓所得之速度歷時積分後畫出相對位移軌跡路徑如圖 6-8。

圖 6-7(a) 大樓頂樓中心 1 分鐘加速度歷時

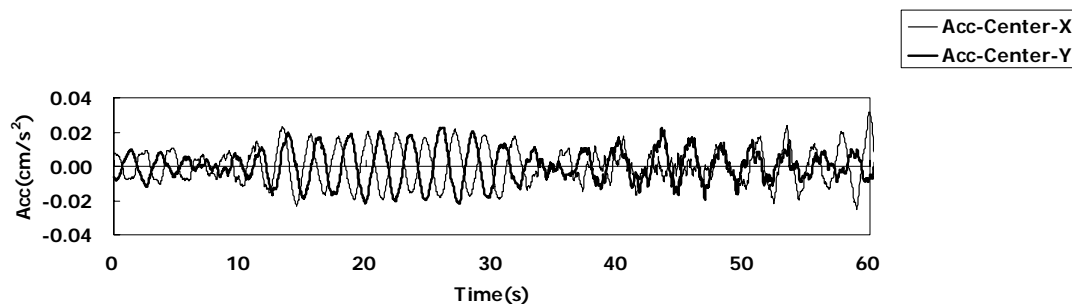


圖 6-7(b) 大樓頂樓角落 1 分鐘加速度歷時

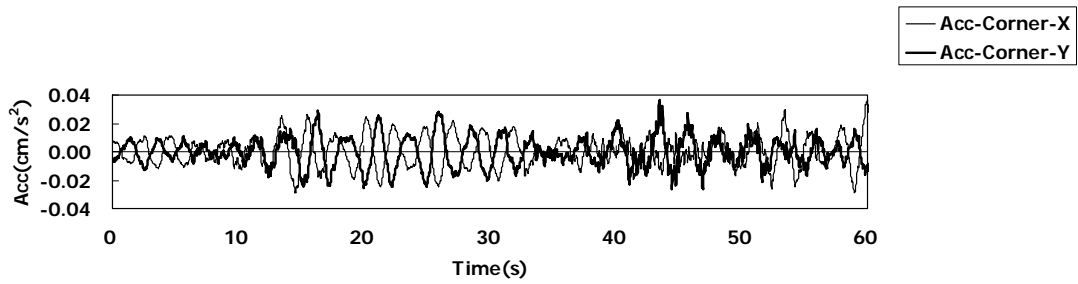
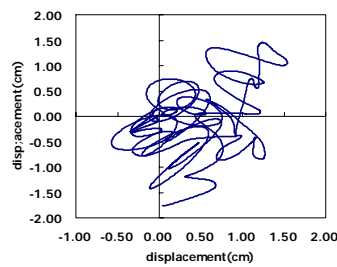


圖 6-8 大樓頂樓位移軌跡圖



選取 18 日 3 時至 4 時的加速度歷時做頻譜分析可得圖 6-9 之頻譜圖。其中可由大樓中心加速度歷時（圖 6-9 (a)）發現大樓順風向及橫風向的第一模態頻率約為 0.44Hz 及 0.42Hz，以及大樓角落加速度歷時（圖 6-9 (b)）扭轉向的第一振態頻率 0.62Hz。並以其他時間點作頻譜分析，皆可得出相同的頻率值。

圖 6-9 (a) 中心加速度歷時頻譜圖

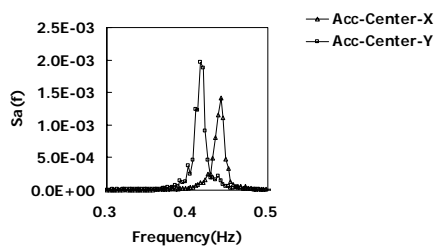
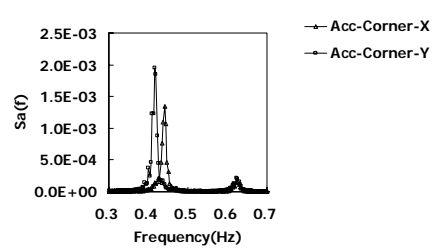
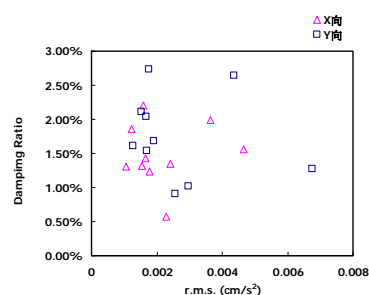


圖 6-9 (b) 角落加速度歷時頻譜圖



配合半功幕法求解出兩向之阻尼值，以位移均方根值為 X 軸，阻尼值為 Y 軸做圖如圖 6-10 所示。可發現兩者關係並不明顯。

圖 6-10 阻尼值與加速度均方根值相對關係圖



七、風洞實驗之規劃

本計畫之執行重點為風工程實場量測相關技術之發展，主要目的在於建立起包含台灣氣候特徵（颱風）之結構受風反應與風場特性資料庫，做為風洞物理模擬、計算流體力學數值模擬以及理論分析結果之最終驗證。因此，規劃以台北市中央百世大樓、淡水中央廣播電臺與高屏溪橋為場址，執行建築物風力高屏溪橋、風場特性與全橋試驗等之風洞物理模擬實驗，做為風洞實驗與實場量測間之比對。

1. 中央百世大樓氣動力模型風洞試驗（本年度執行）

本計畫實場量測針對台北市辛亥路上的百世大樓執行風洞模擬試驗的研究，於該大樓裝設速度計、加速度計與風速計，量測大樓在不同風速下之受風反應。此外，實場風速計之裝設位置受限於大樓景觀之考量，於頂樓架設之高度無法有效脫離該大樓造成之氣流尾跡區域，因此實場量得之風速資料與逼近流實際之風速將有所差別。故於風洞實驗中亦將針對風速之量測進行修正，使實場風速資料能正確反應逼近流場之風速特性。本計畫第二年之風洞實驗包含結構風力實驗與風速修正實驗二種，詳述如下。

A. 目標物與試驗環境概述

本研究是針對台北市辛亥路上的百世大樓執行風洞模擬試驗。大樓共有 30 層，總高度為 105.24m(不含屋凸部份)。本大樓位於城市之中，故其風速剖面以指數 0.24 之指數律來描述，符合此區域特徵，而紊流風場也具有適當的紊流特性。

B. 結構風力實驗

風洞實驗之逼近流場將以符合該地區之流場特性模擬之。本案預計以錐形擾流板和配套之粗糙元及龍齒組合，在風洞試驗段內建立一能與現場情況相當之模擬大氣邊界層逼近流。風洞物理模擬試驗需對大樓週遭地形地物進行縮尺模擬，以考慮複雜地貌對風場的影響，整個模型依實際情況被切割成數區而後併裝安置於風洞轉盤上。本實驗擬採用剛性風壓模型量測風力，模型以透明壓克力製作，於大樓模型表面開設足夠之 1mm 直徑壓力孔（約 300~400 個），以壓力管連接至壓力感應器上，以量測各點之風壓值。對所有壓力孔同步量測並乘以其所代表之壓力面積，加總後即為該大樓所受風力。試驗風向以正北為準，每 10 度做一組量測，所量測之風向共有 36 組，每個風向進行兩次量測，以避免誤差。量測時，在邊界層高度安裝皮托管以量測參考風速，並以皮托管之負壓端作為流場之背景壓力。所有風速及壓力資料均透過電子式壓力掃描器，進行量測。

待獲得可靠之風洞實驗資料後，再將特定風向之風載重數據，配合結構之振動頻率、振態等相關結構資料，以振態分析等結構動力方式計算而得特定樓層之位移、速度與加速度值，即可與實場資料進行比對。

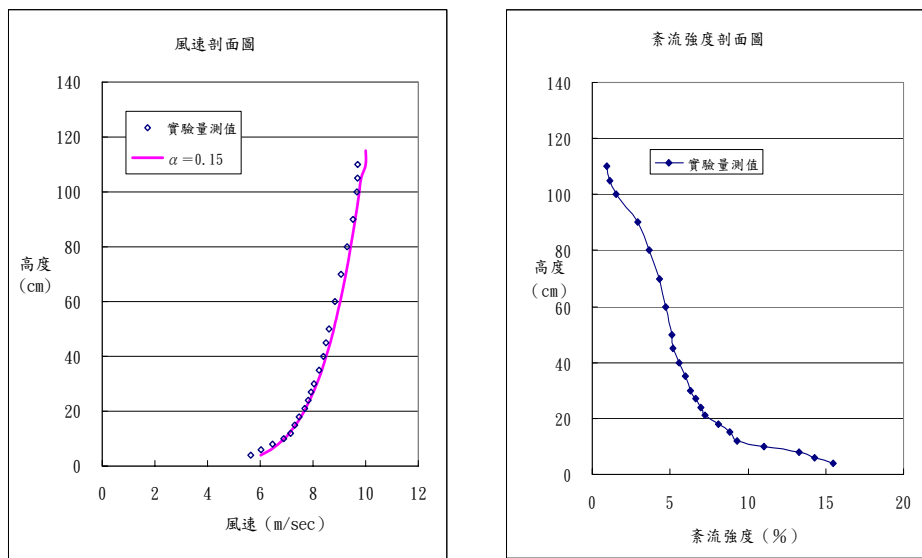
C.風速修正

利用結構風力實驗之模型，於實場量測之風速計裝設位置，以及大樓附近同高度不受周圍地形地物影響之位置，分別架設一套熱膜風速探針，量測不同風向角作用下，在上述二位置之風速差異，以做為風速修正之參考。

2.中央廣播電臺風洞模擬（本年度完成規劃與逼近流模擬）

本風洞試驗之主建築物北方、西方和南方都為海岸地形，東方約 1.5 公里處有一 40m~50m 高的丘陵地形，其周圍皆為平坦地形或低矮建築。依照內政部建築研究所民國 93 年 1 月之「建築物耐風設計規範及解說（草案）」，為地況 C 之地形，風場特徵為 $\alpha=0.15$ 、 $\delta=300\text{m}$ 。風洞實驗之逼近流場將以符合該地區之流場特性模擬之。鐵塔周圍地形之製作與前述風力實驗之原則相同，需進行地形地物之模擬以充分反映逼近流場到達該鐵塔時所受到之干擾。試驗時以一座 1:300 的模型，於加工後被安置在風洞試驗段內轉盤的中央，主建築物四周半徑 450 米範圍內的建築物，全部被複製成模型，一起安置在轉盤上，以確切描述該地況風場特性。風洞實驗將以熱膜風速探針架設於實場風速計之位置，於不同風向角進行風場特性之量測。實驗結果同樣以風速剖面、紊流強度剖面以及各測點之風速頻譜表現，以與實場量測結果做一比較。

目前逼近流場之模擬已有初步成果，藉由在風洞收縮段與試驗段之結合處設錐形阻流版、一組“龍齒”渦流發生器，試驗段之底部則鋪以粗糙元，並在旋轉工作平台前方，鋪上長 120 公分、寬 300 公分、高 1.5 公分之塑膠墊。所量測出之平均風速剖面、紊流強度剖面如圖所示。



平均風速剖面與紊流強度剖面圖

3.高屏溪斜張橋風洞模擬

※註：本計畫由於研究經費遭大幅削減，核准研究經費不足以執行風洞模型試驗，故有關高屏溪橋的全橋與斷面模型試驗係研究團隊另行配合內政部建築研究所的相關風洞研究計畫所完成。風洞試驗項目與工作內容仍以本計畫的原始目的為規劃方向，風洞試驗結果也將配合實場監測數據進行比較驗證。風洞試驗結果詳見子計畫二。

A.全橋模型風洞試驗

全橋模型風洞試驗所使用的風洞為內政部建築研究所台南風洞，該風洞為一閉迴式風洞(Open Suction Type)。風洞試驗斷面高 2.6 公尺、寬 6 公尺。風洞之最高風速可達 20 m/s。設有直徑 3 公尺之油壓升降式旋轉工作平台，並配有數位式角度計可精確量測旋轉角度。主要流場分為平滑流場及模型工址地形流場。利用 spire 與粗糙元素擺置在模型上游處，以模擬工址周圍之邊界紊流特性。

全橋模型試驗主要實驗內容分為：(1) 顫振臨界風速、扭轉不穩定，(2) 抖振反應、渦流顫振。其內容如下表所示，(1) 以橋面版順風向為 0° ，順時針為正，主要試驗風攻角為 $+3^\circ$ 、 0° 、 -3° (2) 以橋梁中心之垂直風向為準，主要試驗風向角在 $+30^\circ$ 、 0° 、 -30° 。其位移反應量測方式，利用設計風速下之不同風速條件，使用遠距與短距雷射位移計，量測橋梁斷面單點與橋面版沿橋軸方向 (Spanwise) 之垂直與扭轉位移反應，並同時利用加速度計量測拱頂端橋軸方向及拖曳向之加速度反應。

B.斷面模型風洞試驗

斷面模型試驗主要試驗段為全橋模型試驗之位置，主要測試顫振導數，及模擬原橋梁之頻率比，以評估相似性轉換後之振動反應。主要流場分為平滑流場及紊流邊界場。將橋梁斷面架構置於風洞圓盤上，以達到與全橋模型試驗同樣之紊流特性。斷面模型試驗主要實驗內容分為：(1) 顫振導數，(2) 相似性實驗。其內容包括：(1) 以順風向順時針旋轉為正，主要試驗風攻角為 $+3^\circ$ 、 0° 、 -3° (2) 主要試驗風向角在 0° 。其位移反應量測方式，利用設計風速下之不同風速條件，使用短距雷射位移計，量測橋梁斷面之垂直與扭轉位移反應。

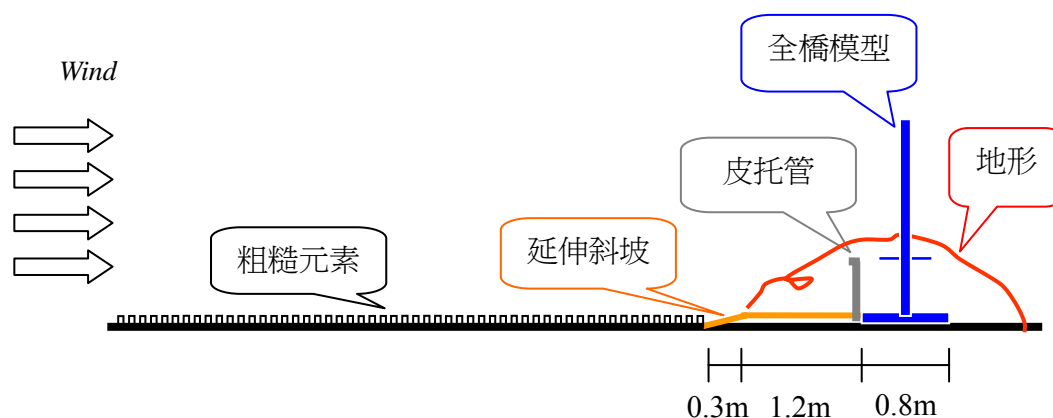
八、高屏溪斜張橋風洞實驗結果

※註：本計畫由於核准研究經費不足以執行風洞模型試驗，故有關高屏溪橋的全橋與斷面模型試驗係研究團隊另行配合內政部建築研究所的相關風洞研究計畫所完成。風洞試驗結果詳見子計畫二。

1. 風洞實驗流場

本計畫以平滑流場測試顫振臨界風速，以紊流邊界流場測試全橋模型之抖振反應。邊界紊流場 α 值大約為 0.15、紊流強度約為 10%、邊界層高度約為 200cm。當 α 值為 0.15 時，其實場之邊界層高度約為 300cm。因此模擬之邊界紊流場高度與實場之邊界層高度約為 1：150，模型之縮尺為 1：125，其兩者縮尺接近。

圖 8-1 模型於風洞內之架構示意圖



2. 全橋模型風洞試驗結果

A. 平滑流場

當實場風速接近 120m/s 時，其扭轉向振動反應並無明顯攀升，此時試驗風速遠超過 500 年回歸期設計風速 60.8m/s。而在數值分析方面，顫振臨界風速約為 145.6m/s，亦遠高於 500 年回歸期設計風速，顯示在平滑流場下無氣動力不穩定的現象。在實場風速 40m/s 以下，並無發現產生渦流顫振現象，表示橋梁受到尾跡渦流影響較微弱。

B. 紊流流場

實驗結果顯示：當設計風速 52m/s 與 500 年回歸期風速 60.8m/s 時，其各風向角之垂直擾動反應值約在 7~10cm；扭轉向擾動反應值約為 0.05~0.09 度；拖曳向擾動反應值約為 0.04；橋塔振動加速度擾動值約為 0.13~0.22，其影響均在可接受的範圍之內。

3.斷面模型風洞試驗結果

橋梁斷面模型之顫振導數之實驗於平滑流場中進行，並於三個風攻角（ -3° 、 0° 、 3° ，間隔 3° ），用以瞭解各風攻角下對垂直與扭轉向顫振導數之影響。本研究之非耦合項顫振導數在 0 度攻角的實驗值均與 DMI 所量測之值接近，但耦合項顫振導數則與 DMI 所量測之值有差異。

A.風力係數

斷面風洞試驗於平滑流場所得之風力係數與丹麥海洋學會於邊界紊流場下之風洞報告書風力係數之比較分述如下：順風向風力係數（ C_D ）二者 C_D 值相當接近；垂直向風力係數（ C_L ）與扭轉向風力係數（ C_M ）亦有相近的趨勢。由上述三個方向之風力係數比較中，本實驗之 C_D 、 C_L 與 C_M 與風洞報告書因在不同流場下量測，因此其數值比較趨勢相同但數值有些差異。

B.抖振效應

本計畫並以斷面模型試驗在紊流場下之平均抖振反應，在負 3 度攻角均較其他攻角有明顯振動反應。但擾動反應在不同風攻角時其變化並不明顯。亦從表 8-3 可知，當風攻角在 -3 度時，其反應較其他兩角度為明顯，顯示在此攻角下，橋梁較不穩定。在平滑流場下的扭轉振動反應，約在實場風速 40m/s 處，有渦致共振現象產生。

C.抖振效應之數值分析

本研究利用斷面模型試驗所求得之顫振導數，配合建立之數值模式下，求得之原型橋梁抖振反應。

表 8-3 斷面模型試驗所得之原型橋梁抖振反應

U	風攻角	垂直 mean	垂直 r. m. s	扭轉 mean	扭轉 r. m. s
52 m/s	+3	0.0741	0.2120	-0.1877	0.1039
	0	0.2428	0.2161	-0.0567	0.1074
	-3	0.4095	0.2243	0.0602	0.1180
U	風攻角	垂直 mean	垂直 r. m. s	扭轉 mean	扭轉 r. m. s
60.8m/s	+3	0.1132	0.3334	-0.2691	0.1700
	0	0.3746	0.3437	-0.0850	0.1641
	-3	0.6339	0.3334	0.1110	0.1959

（單位：公尺、度）

表 8-4 數值分析之振動反應

U =52 m/s		T. I.					
		0.08	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10
		垂直向		拖曳向		扭轉向	
$\chi_{aero} \neq 1$	主跨 2/3 處	0.1730	0.2162	0.0009	0.0011	0.0513	0.0641
	主跨 1/2 處	0.1247	0.1559	0.0008	0.0010	0.0528	0.0660
$\chi_{aero} = 1$	主跨 2/3 處	0.1740	0.2175	0.0010	0.0012	0.0546	0.0683
	主跨 1/2 處	0.1255	0.1569	0.0009	0.0011	0.0566	0.0707
U =60.8m/s		T. I.					
		0.08	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10
		垂直向		拖曳向		扭轉向	
$\chi_{aero} \neq 1$	主跨 2/3 處	0.2235	0.2794	0.0010	0.0012	0.0722	0.0902
	主跨 1/2 處	0.1621	0.2026	0.0009	0.0011	0.0768	0.0960
$\chi_{aero} = 1$	主跨 2/3 處	0.2246	0.2808	0.0011	0.0014	0.0762	0.0953
	主跨 1/2 處	0.1630	0.2037	0.0010	0.0012	0.0813	0.1017

(單位：公尺、度)

九、預期成果

由於本計畫之申請研究經費與核定研究經費相差甚大，研究設備與研究人力均需縮減，因此研究工作內容也在不影響主要研究目標的大前提之下，必須作相對調整。本年度預期完成之工作項目包括：

1. 建置高屏溪斜張橋實場監測系統
2. 建置高屏溪斜張橋實場監測數據資訊平台
3. 執行百世大樓風洞氣動力模型試驗及
4. 完成中央電台風場模擬與逼近流風場試驗規劃
5. 百世大樓受風反應以及中央電台邊界層風場監測數據之分析
6. 高屏溪斜張橋實場監測數據之初步分析
7. 根據橋樑在無風狀態下所得微振資料進行橋樑結構系統識別
8. 根據風洞試驗與高層建築之實場量測數據，比較探討高樓結構受風振動行為
9. 根據實場風速量測數據探討大氣邊界層風場特性，並分別以常態風及颱風進行分析研究。